

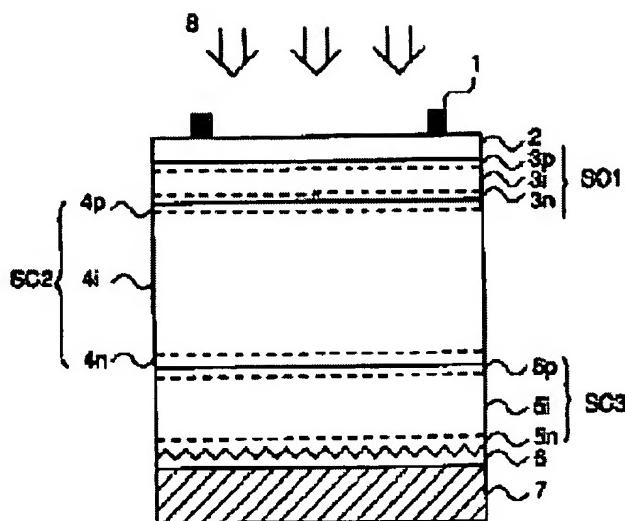
## LAYER-BUILT SOLAR CELL

**Publication number:** JP9260698  
**Publication date:** 1997-10-03  
**Inventor:** KURODA SHIGERU  
**Applicant:** SANYO ELECTRIC CO  
**Classification:**  
 - International: H01L31/04; H01L31/04; (IPC1-7): H01L31/04  
 - european:  
**Application number:** JP19960070617 19960326  
**Priority number(s):** JP19960070617 19960326

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP9260698

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To generate a photoelectric current over a wide range of wavelength regions by causing an i-layer being in the photoelectric converting layer, out of i-layers being in individual photoelectric converting layers, of a layer-built solar cell composed by forming first, second, and third photoelectric converting layers in order from the light incidence side to have the narrowest optical band gap. **SOLUTION:** In a photoelectric converting layer SC2, only part of light which is transmitted through a photoelectric converting layer SC1 being on the light incidence side, out of the incident light, can be absorbed. Accordingly, it becomes important to have light sensitivity over a wide wavelength region to utilize this once transmitted light sufficiently, for thinning the thickness of an i-layer 4i being in the photoelectric converting layer SC2. For this reason, the optical band gap of the i-layer 4i being in the photoelectric converting layer SC2 is made to be 1.5eV the narrowest. Since it has the narrowest optical band gap out of i-layer being in individual photoelectric converting layers, its wavelength sensitivity extends up to a long wavelength side, and it becomes possible to generate a photoelectric current over a wide range of wavelength regions.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-260698

(43)公開日 平成9年(1997)10月3日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 31/04

識別記号

府内整理番号

F I

H 0 1 L 31/04

技術表示箇所

W

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全7頁)

(21)出願番号

特願平8-70617

(22)出願日

平成8年(1996)3月26日

(71)出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72)発明者 黒田 茂

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三  
洋電機株式会社内

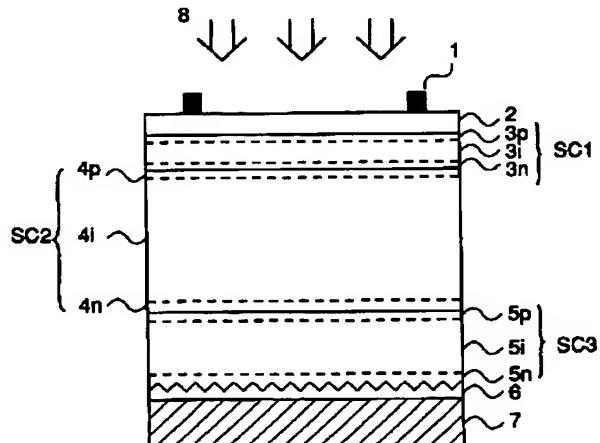
(74)代理人 弁理士 岡田 敬

(54)【発明の名称】 積層型太陽電池

(57)【要約】

【目的】長時間の光照射後でも光電変換特性の高い積層型太陽電池を提供する。

【構成】積層型太陽電池を構成する光電変換層のうち中に位置する光電変換層SC2に在るi層4iの光学的バンドギャップを最も狭くすることにより、該層4iの薄膜化が可能となる。これに因り、長時間の光照射後ににおける光電変換特性の向上が可能となる。



1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光入射側から第1、第2及び第3の光電変換層が順次積層されてなる積層型太陽電池であつて、前記第2の光電変換層に在るi層が、前記各光電変換層に在るi層のうち最も狭い光学的バンドギャップを有することを特徴とする積層型太陽電池。

【請求項2】 前記第1、第2及び第3の光電変換層に在るi層の光学的バンドギャップを夫々Eg1、Eg2及びEg3とした時に、これらが

$$Eg2 \leq Eg3 < Eg1$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項1記載の積層型太陽電池。

【請求項3】 前記第2及び第3の光電変換層に在るi層が共に非晶質シリコンゲルマニウム膜からなるとともに、夫々の膜中のシリコン原子数Cs12、Cs13、ゲルマニウム原子数Cc2、Cc3及び水素原子数Cn2、Cn3が、

$$1.3[Cn2]/([Cs12]+[Cc2])-0.6[Cc2]/([Cs12]+[Cc2]) \leq 1.3[Cn3]/([Cs13]+[Cc3])-0.6[Cc3]/([Cs13]+[Cc3])$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項1または2記載の積層型太陽電池。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光入射側から第1、第2及び第3の光電変換層が積層されてなる積層型太陽電池において、長時間の光照射後における光電変換効率を向上させる技術に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 非晶質シリコン膜に代表される非晶質半導体膜を用いた太陽電池は、結晶系半導体を用いた太陽電池に比べ低温で製造することができ、また容易に大面积化を図ることができる、という利点を有している。

【0003】 この非晶質半導体膜を用いた太陽電池にあっては、入射光の有効利用を図りその光電変換効率を向上させるために、例えば特開昭58-116779号に開示される如く、複数の光電変換層を積層した積層型太陽電池が提案されている。

【0004】 図1は、従来の積層型太陽電池の素子構造概念図である。

【0005】 同図において、1は光入射側に配されたAg、Al等の金属からなる櫛型の集電極であり2はITO、ZnO等の透光性導電膜からなる透光性電極である。そして、SC1、SC2及びSC3は夫々第1、第2及び第3の光電変換層であり、夫々p型の非晶質シリコンカーバイド(a-SiC)膜からなるp層3p、4p、5p、真性のa-SiC膜、非晶質シリコン(a-Si)膜或いは非晶質シリコンゲルマニウム(a-SiGe)膜からなるi層3i、4i、5i及びn型のa-Si膜からなるn層3n、4n、5nが積層されて構成

されている。

【0006】 そして、6は前記第3の光電変換層SC3の光透過側に配されたAg、Al等の反射性の金属からなる背面電極であり、その表面で光を散乱させるために凹凸面を有している。また、7はプラスチックあるいは表面がSiO<sub>2</sub>、SiN等の絶縁膜で覆われたステンレス等の絶縁性表面を有する基板である。

【0007】 斯かる構造の積層型太陽電池に光8が入射すると、この光はまず光入射側に配された第1の光電変換層SC1にてその短波長成分が吸収され、次いで該層

SC1で吸収されずに透過した光の一部が第2の光電変換層SC2で吸収される。従って、従来上記第1の光電変換層SC1のi層3iは、光学的バンドギャップの広いa-SiC膜或いはa-Si膜で構成されると共に、第2の光電変換層SC2のi層4iは、前記i層3iを構成するa-SiC膜或いはa-Si膜よりも光学的バンドギャップの狭いa-Si膜或いはa-SiGe膜で構成される。

【0008】 そして、上記第2の光電変換層SC2で吸収されず該層を透過した長波長光は第3の光電変換層SC3で吸収されることとなる。また、光電変換層SC3を透過した光は背面電極6により反射され、該層SC3に再入射してこの部分で吸収されることとなる。このため、第3の光電変換層SC3のi層5iは、より光学的バンドギャップの狭いa-SiGe膜で構成される。

【0009】 従って、従来は、積層型太陽電池を構成する各光電変換層SC3、SC4及びSC5に在るi層3i、4i及び5iの光学的バンドギャップは、光入射側から順次狭くなるように設計されていた。

## 【0010】

【発明が解決しようとする課題】 斯かる構造の積層型太陽電池にあっては、各光電変換層SC1、SC2及びSC3が直列接続された構造であるために、最大の光電変換効率を得るために各光電変換層で発生される光電流を略等しくする必要がある。

【0011】 然し乍ら、上記従来の積層型太陽電池にあっては、第2の光電変換層SC2のi層4iの厚さを、他の光電変換層に在るi層3i及び5iに比べて極めて厚くする必要があった。以下にこの理由を詳述する。

【0012】 前述した如く、従来の積層型太陽電池にあっては各i層3i、4i及び5iの光学的バンドギャップは、光入射側から順次狭くなるように設定されている。そして、各光電変換層SC1、SC2及びSC3では順に、入射光のうち短波長成分、中波長成分、及び長波長成分が吸収されることとなる。

【0013】 ここで、光入射側に配されるi層3iを構成する光学的バンドギャップの広いa-SiC膜或いはa-Si膜は、その短波長での吸収係数が大きいために、上記i層3iの厚さは約1000Å以下と非常に薄膜とすることができる。

【0014】また、光透過側の光電変換層SC3は、光入射側に配された他の光電変換層SC1及びSC2を透過した光に加えて、その光透過側に配された背面電極6で反射された光も吸収するために、そのi層5iの厚さも、やはり約1500Å以下と極めて薄膜にすることができる。

【0015】特に、背面電極6の表面を凹凸面とすると、この部分での拡散反射の効果が大きくなるために、背面電極6で反射された光の大部分が光電変換層SC3で吸収されることとなる。従って、光電変換層SC3の厚さをさらに薄膜化することができた。

【0016】然し乍ら、上記2つの光電変換層SC1及びSC3の間に配された第2の光電変換層SC2では、第1の光電変換層SC1を透過した光しか吸収することができず、このためその厚さを、他のi層3i, 5iの厚さと比して非常に大きく約3000Å以上とする必要があった。

【0017】ところが、非晶質シリコン等の非晶質半導体には、光を照射するとその光電変換特性が劣化する光劣化という問題が存在し、そしてこの光劣化は厚さが厚いほど大きくなる。

【0018】従って、上記従来の積層型太陽電池では、厚さの厚い第2の光電変換層SC2に在るi層4iでの光劣化が大きく、このため太陽電池素子全体としても光劣化が大きくなっていた。

【0019】また、これを防ぐためにi層4iの厚さを薄くすると、この部分で発生する光电流が小さくなるために光電変換効率そのものが低下していた。

#### 【0020】

【課題を解決するための手段】斯かる課題を解決するために、本願の積層型太陽電池は、光入射側から第1、第2及び第3の光電変換層が順次積層されてなる積層型太陽電池であって、前記第2の光電変換層に在るi層が、前記各光電変換層に在るi層のうち最も狭い光学的バンドギャップを有することを特徴としている。

【0021】また、前記第1、第2及び第3の光電変換層に在るi層の光学的バンドギャップを夫々Eg1, Eg

g2及びEg3とした時に、これらが

Eg2 ≤ Eg3 < Eg1

なる関係を満たすことを特徴としている。

【0022】さらには、前記第2及び第3の光電変換層に在るi層が共に非晶質シリコンゲルマニウム膜からなるとともに、夫々の膜中のシリコン原子数Cs12, Cs13、ゲルマニウム原子数CGe2, CGe3及び水素原子数Ch2, Ch3が、

1.3[Ch2]/([Cs12]+[CGe2])-0.6[CGe2]/([Cs12]+  
[CGe2])≤1.3[Ch3]/([Cs13]+[CGe3])-0.6[CGe3]/([Cs13]+[CGe3])

なる関係を満たすことを特徴としている。

#### 【0023】

【実施の形態】以下に、本発明積層型太陽電池素子の実施形態を示す。尚、素子構造は図1に示した従来構造と同一であるので、図1を参照して説明する。

【0024】本発明に於いて、前述した従来例と異なる点は、第2の光電変換層に在るi層4iの光学的バンドギャップを、他のi層3i及び5iのそれよりも狭くした点にある。即ち第1、第2及び第3の光電変換層に在る各i層3i, 4i及び5iの光学的バンドギャップを夫々Eg1, Eg2及びEg3とした時に、従来が数1を満たす関係としていた各光学的バンドギャップを、数2を満たす関係とした点にある。

#### 【0025】

##### 【数1】

$$Eg1 > Eg2 > Eg3$$

#### 【0026】

##### 【数2】

$$Eg2 \leq Eg3 < Eg1$$

【0027】表1に、本実施形態積層型太陽電池の各光電変換層を構成する非晶質半導体膜の材質、光学的バンドギャップ及び厚さを示す。また、従来構造に於ける各層の値も合わせて示す。

#### 【0028】

##### 【表1】

本実施形態	第1光電変換層			第2光電変換層			第3光電変換層		
	p層	i層	n層	p層	i層	n層	p層	i層	n層
a-SiC	a-Si	a-Si	a-SiC	a-SiGe	a-Si	a-Si	a-Si	a-SiGe	a-Si
1.85eV	1.80eV	1.55eV	1.80eV	1.50eV	1.55eV	1.60eV	1.65eV	1.55eV	
100Å	800Å	200Å	100Å	1000Å	200Å	100Å	1500Å	200Å	

従来構造	第1光電変換層			第2光電変換層			第3光電変換層		
	p層	i層	n層	p層	i層	n層	p層	i層	n層
a-SiC	a-Si	a-Si	a-SiC	a-SiGe	a-Si	a-Si	a-Si	a-SiGe	a-Si
1.85eV	1.80eV	1.55eV	1.80eV	1.65eV	1.55eV	1.60eV	1.50eV	1.55eV	
100Å	800Å	200Å	100Å	3000Å	200Å	100Å	1000Å	200Å	

【0029】尚、上記各層の形成はプラズマCVD法を用い、原料ガスを適宜切り替えることにより行った。また、基板7としては表面がSiO<sub>2</sub>膜で絶縁コートされたステンレスを用い、背面電極6の形成はスパッタ法を用いてAgを厚さ5000Å堆積することにより行った。ここで、形成時の温度を200℃～300℃の範囲とすることにより、表面に凹凸面を有する背面電極6を形成することができる。

【0030】さらに、透光性電極2の形成はスパッタ法を用いて厚さ700ÅのITOを堆積して行い、集電極1の形成はスクリーン印刷を用いてAgを櫛型状に堆積することにより行った。

【0031】次に、本発明積層型太陽電池に於ける光の吸收過程について以下に詳述する。

【0032】まず、太陽電池が利用できる光の波長は、各光電変換層中のi層3i, 4i或いは5iのうち、最も狭い光学的バンドギャップを有するi層の光吸収特性で決定される。即ち本実施形態の太陽電池にあっては、光学的バンドギャップが1.50eVのa-SiGe膜からなる第2の光電変換層SC2のi層4iで決定され、従来構造の太陽電池にあっては、光学的バンドギャップが1.50eVのa-SiGe膜からなる第3の光電変換層SC3のi層5iで決定される。そして、両者とも光学的バンドギャップの値は1.50eVと同じであるので、利用できる光の波長は等しい。尚、光学的バンドギャップは  $h\nu \propto s(\alpha h\nu)^{1/3}$  の関係から導出した (Japanese Journal of Applied Physics, 30(1991)1008)。

【0033】尚、この光学的バンドギャップの値は小さければ小さい程、より長波長領域の光まで吸収できることとなる。然し乍ら、光学的バンドギャップの小さい材料として利用されているa-SiGe膜の電気的特性は、光学的バンドギャップが狭くなるほど劣悪なものと

なり、光の吸収は増えるものの生成された電子・正孔対を有効に外部に取り出すことができない。従って、現状では、太陽電池のi層として利用できる最も狭い光学的バンドギャップの値は1.50eV程度であり、これ以下の値になると太陽電池に用いた場合にその光電変換特性が低下してしまう。然し乍ら、電気的特性を良好に保つことができるならば、もっと狭い光学的バンドギャップを有する材料を用いて、より長波長の光まで利用を図ることができる。

【0034】上述したように、積層型太陽電池が利用できる光の波長は最も狭い光学的バンドギャップを有するi層で決定されるが、各光電変換層SC1、SC2及びSC3で発生する光電流の和も又該i層の厚さで決定される。

【0035】即ち、積層型太陽電池に於ける各光電変換層で発生する光電流の和は、最も狭い光学的バンドギャップを有するi層を含む光電変換層で構成される単層の太陽電池で発生する光電流と略等しくなるのである。

【0036】さらに具体的には、本実施形態の積層型太陽電池にあっては、第1、第2及び第3の光電変換層SC1、SC2及びSC3で発生される光電流の和は、第2の光電変換層SC2のみからなる単層の太陽電池で発生される光電流と略等しくなる。そして、従来構造の積層型太陽電池にあっては、各第1、第2及び第3の光電変換層SC1、SC2及びSC3で発生される光電流の和は、第3の光電変換層SC3のみからなる単層の太陽電池で発生される光電流の和と等しくなるのである。

【0037】そして、本実施形態の積層型太陽電池にあっては第2の光電変換層SC2、また従来構造にあっては第3の光電変換層SC3のみからなる単層の太陽電池で発生される光電流は、そのi層4iもしくは5iの光学的バンドギャップとその厚さで決定されるのである。

【0038】従って、本実施形態の積層型太陽電池にあ

っても従来構造の積層型太陽電池にあっても、この*i*層の厚さは略等しく1000Å程度であるので、各光電変換層で発生される光電流の和も略等しくなり、21mA/cm<sup>2</sup>程度であった。

【0039】前述したように、積層型太陽電池にあってはその光電変換特性を最大にするために、各光電変換層で発生される光電流を略等しくする必要がある。従つて、本実施形態及び従来構造の積層型太陽電池にあっては、各光電変換層で発生される光電流の和が21mA/cm<sup>2</sup>程度であるので、各光電変換層で発生される光電流を夫々7mA/cm<sup>2</sup>程度にする必要がある。

【0040】ここで、各光電変換層SC1、SC2及びSC3の各*i*層の最適な厚さを決定するにあたって、各光電変換層のみからなる単層の太陽電池を複数個形成し、この電流値から各*i*層の厚さの最適値を求めた。

【0041】即ち、光入射側の光電変換層SC1に在る*i*層3*i*の厚さを決定するにあたっては、光入射側から集電極/ITO/p型a-SiC/i型a-Si/n型a-Si/SnO<sub>2</sub>構造の太陽電池を形成し、この太陽電池の光電変換特性を波長480nm以上の光をカットする光学フィルタ下で測定し、この時の短絡電流値が略7mA/cm<sup>2</sup>となるように*i*層の厚さを決定した。

【0042】また、中間に位置する光電変換層SC2に在る*i*層4*i*の厚さを決定するにあたっては、光入射側から集電極/ITO/p型a-SiC/i型a-SiGe/n型a-Si/SnO<sub>2</sub>構造の太陽電池を形成し、この太陽電池の光電変換特性を波長約450nm以下の短波長光及び約700nm以上の長波長光をカットする光学フィルタ下で測定し、この時の短絡電流値が略7mA/cm<sup>2</sup>となるように*i*層の厚さを決定した。

【0043】さらに、光透過側の光電変換層SC3に在る*i*層5*i*の厚さを決定するにあたっては、光入射側から集電極/ITO/p型a-SiC/i型a-Si/n型a-Si/凹凸表面を有するAg構造の太陽電池を形成し、この太陽電池の光電変換特性を波長650nm以下の光をカットする光学フィルタ下で測定し、この時の短絡電流値が略7mA/cm<sup>2</sup>となるように*i*層の厚さを決定した。

【0044】以上の方法によれば、各*i*層3*i*、4*i*及び5*i*の厚さを単層の太陽電池で決定でき、積層型太陽電池を形成する必要がないことから、短時間で各*i*層の最適な厚さを決定することができる。

【0045】尚、前述の表1に示した各*i*層の厚さは、以上の如くして決定した最適値である。

【0046】図2は、本実施形態と従来構造の積層型太陽電池に於ける各光電変換層SC1、SC2及びSC3の光感度を表す特性図である。同図において(A)は本実施形態の積層型太陽電池に関する特性図であり、

(B)は従来構造の積層型太陽電池に関する特性図である。

【0047】同図に於いて注目すべきは、中間に位置する光電変換層SC2の収集効率である。本実施形態の積層型太陽電池に於いては、光電変換層SC2に在る*i*層4*i*が最も狭い光学的バンドギャップを有しているので、その波長感度は長波長側まで広がり、従来構造に比べて広範囲の波長領域にわたって光電流を発生している。

【0048】前述したように、背面電極6で反射された反射光は光透過側の光電変換層SC3で殆ど吸収されてしまうために、光電変換層SC2で吸収される光は1回透過の光のみである。即ち、該光電変換層SC2においては、入射光のうち、光入射側の光電変換層SC1を透過してきた光だけしか吸収することができない。従つて、光電変換層SC2に在る*i*層4*i*の厚さを薄くするためにには、この1回透過光を十分利用すべく広い波長領域にわたって光感度を有していることが重要である。このために、本実施形態に於いては、光電変換層SC2に在る*i*層4*i*の光学的バンドギャップを1.50eVと最も狭くしている。この結果、本実施形態に於いては、光電変換層SC2に在る*i*層4*i*の厚さを約1000Åと、従来の約1/3に薄膜化することが可能となった。

【0049】尚、光入射側の光電変換層SC1においては、元々入射光の短波長成分しか吸収されないので、その*i*層3*i*の光学的バンドギャップは従来と同様広いもので良い。逆に、この部分での光学的バンドギャップを狭くすると入射光の長波長成分がこの部分で吸収されてしまい、第2及び第3の光電変換層SC2及びSC3に透過する長波長光が減ることとなるので、光入射側の光電変換層3*i*の光学的バンドギャップは他の*i*層4*i*及び5*i*の光学的バンドギャップよりも広くする必要がある。

【0050】また、光透過側の光電変換層3*i*については、光電変換層SC1及びSC2を透過した光及び背面電極6で反射された光を吸収することとなる。ここで、本実施形態に於いては、光電変換層SC2に在る*i*層4*i*の光学的バンドギャップを狭くしているので、該光電変換層SC2を透過する光の波長成分は従来構造よりも長波長成分が減ることになる。

【0051】然し乍ら、光電変換層SC1及びSC2では、本実施形態に於いても従来と同様約14mA/cm<sup>2</sup>の光電流に対応する光しか吸収されず、残り約7mA/cm<sup>2</sup>の光電流に対応する光は透過している。加えて、本実施形態に於いては光電変換層SC2に在る*i*層4*i*の光学的バンドギャップが従来よりも小さく、光の長波長成分はその大部分が該*i*層4*i*で吸収されるので、透過した光は従来よりもその長波長成分が少ない。従つて、光透過側の光電変換層SC3に在る*i*層5*i*の光学的バンドギャップは従来よりも広くすることができる。また、該光電変換層SC3では背面電極6で反射される光も利用できるので、厚さを厚くする必要もなく、

本実施形態にあっては約1500Åであった。

【0052】次に、本実施形態及び従来構造の積層型太陽電池について、長時間の光照射後の光電変換特性を比較した。表2は、本実施形態及び従来構造の積層型太陽電池について、長時間の光照射試験を行う前後の光電変換特性を示す。ここで、光照射試験は、AM1.5, 500mW/cm<sup>2</sup>の光を48°Cで6時間照射して行った。

### 【0053】

【表2】

本実施形態		従来構造	
光照射前	光照射後	光照射前	光照射後
10.5%	9.5%	10.5%	8.0%

【0054】表2に示した通り、光照射試験前の光電変換率

$$E_g = 1.3 [C_{H_1}] / ([C_{Si_1}] + [C_{Ge_1}]) - 0.6 [C_{Ge_1}] / ([C_{Si_1}] + [C_{Ge_1}])^{20}$$

【0057】従って、第2及び第3の光電変換素子SC2、SC3に在るi層4i及び5iをa-SiGe膜から構成した場合には、夫々の膜中のシリコン原子数、ゲルマニウム原子数及び水素原子数を[C<sub>Si2</sub>]、

[C<sub>Si3</sub>]、[C<sub>Ge2</sub>]、[C<sub>Ge3</sub>]、[C<sub>H2</sub>]、

$$1.3 [C_{H_2}] / ([C_{Si_2}] + [C_{Ge_2}]) - 0.6 [C_{Ge_2}] / ([C_{Si_2}] + [C_{Ge_2}])$$

$$\leq 1.3 [C_{H_3}] / ([C_{Si_3}] + [C_{Ge_3}]) - 0.6 [C_{Ge_3}] / ([C_{Si_3}] + [C_{Ge_3}])$$

【0059】尚、本実施形態にあっては、基板7とは反対側の方向から光8が入射する構造の太陽電池について説明したが、基板としてガラス基板を用い、この上に透光性電極、第1、第2、第3の光電変換層及び背面電極を積層し、基板側から光が入射する構造の太陽電池にあっても本発明を適用できるのは言うまでもない。

### 【0060】

【発明の効果】以上説明したように、本発明積層型太陽電池によれば、中間に位置する光電変換層SC2に在るi層4iの厚さを薄くできるので、長時間の光照射後の

換特性については10.5%と両者とも等しいが、光照射試験後の光電変換特性については本実施形態の方が9.5%と従来よりも高い値が得られた。これは、前述したとおり本実施形態においては、中間に位置する光電変換層SC2に在るi層4iを構成する非晶質半導体膜の光学的バンドギャップを1.50eVと最も狭くしたことにより、その厚さを約1000Åと従来構造の約1/3に薄膜化できたことに因る。

【0055】ところで、光学的バンドギャップの狭い材料として用いられるa-SiGe膜のバンドギャップEgは、その膜中のシリコン原子数、ゲルマニウム原子数及び水素原子数で決定されることが知られている (Japanese Journal of Applied Physics, 32(1993)4894)。そして、a-SiGe膜中のシリコン原子数を[C<sub>Si1</sub>]、ゲルマニウム原子数を[C<sub>Ge1</sub>]、水素原子数を[C<sub>H1</sub>]とすると、その光学的バンドギャップEgは数3で表すことができる。

### 【0056】

#### 【数3】

[C<sub>H3</sub>]とすると、これらは数4の関係を満たすこととなる。

### 【0058】

#### 【数4】

光電変換特性を良好なものとすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

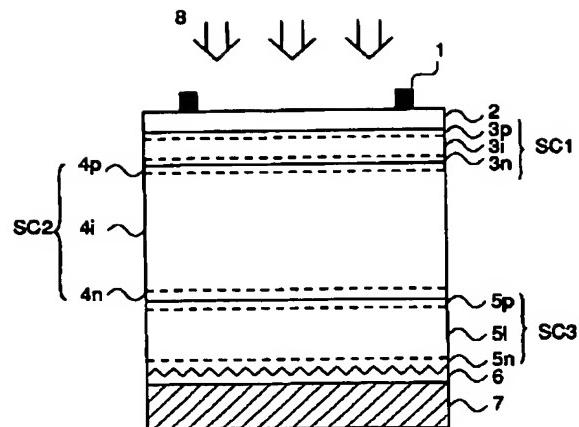
【図1】積層型太陽電池の素子構造図である。

【図2】本実施形態及び従来構造の積層型太陽電池に於ける、各光電変換層の光感度を表す特性図である。

#### 【符号の説明】

SC1…第1の光電変換層、SC2…第2の光電変換層、SC3…第3の光電変換層、3p, 4p, 5p…p層、3i, 4i, 5i…i層、3n, 4n, 5n…n層、6…背面電極

【図1】



【図2】

